

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22420110153633

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

盐度对大菱鲆幼鱼生长、肌肉品质和
饲料蛋白质节约效应的影响及其机理研究

Effects of Salinity on Growth, Flesh Quality and
Protein-Sparing Effect of Juvenile Turbot (*Scophthalmus
maximus*) and Its Corresponding Mechanisms

曾 霖

指导教师姓名: 雷霖霖 院士
洪万树 教授

专 业 名 称: 海洋生物学
论文提交日期: 2014 年 4 月
论文答辩时间: 2014 年 5 月

2014年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

缩略语中英文对照表	XIII
摘要	XV
ABSTRACT	XIX
第 1 章 绪 论	1
1.1 盐度对鱼类渗透压调节的影响	3
1.1.1 海水真骨鱼类渗透压调节	3
1.1.2 淡水真骨鱼类渗透压调节	4
1.1.3 渗透压感知	5
1.1.4 渗透压调节相关的组织器官	5
1.1.5 结语	7
1.2 盐度对鱼类生长、肌肉品质和生理生化的影响	8
1.2.1 盐度对鱼类生长和饲料效率的影响	8
1.2.2 盐度对鱼类肌肉品质的影响	8
1.2.3 盐度对鱼类 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力的影响	12
1.2.4 盐度对鱼类血液生理生化的影响	13
1.2.5 盐度对鱼类非特异性免疫的影响	16
1.2.6 结语	16
1.3 盐度对鱼类碳水化合物利用的影响及其作用机制	17
1.3.1 盐度对鱼类碳水化合物利用的影响	17
1.3.2 盐度对鱼类饲料碳水化合物利用影响的作用机制	18
1.3.3 结语	19
1.4 鱼类能量代谢与 AMPK	20
1.4.1 盐度对鱼类能量代谢的影响	20
1.4.2 AMPK 分子结构及其组织分布	21
1.4.3 AMPK 对物质能量代谢的调节	23
1.4.4 AMPK 对肌肉品质的影响	24
1.4.5 AMPK 活性的调控及其在鱼类养殖生产中的应用	24

1.4.6 结语.....	25
1.5 研究内容、目的、意义及技术路线.....	26
1.5.1 研究内容.....	26
1.5.2 研究目的.....	26
1.5.2 研究意义.....	26
1.5.3 技术路线.....	27
第 2 章 盐度对大菱鲆幼鱼生长和肌肉品质的影响.....	28
2.1 材料与方法.....	29
2.1.1 实验动物及驯化.....	29
2.1.2 样品采集和分析.....	29
2.1.3 数据处理.....	31
2.1.4 统计分析.....	32
2.2 结果.....	32
2.2.1 盐度对生长和饲料效率的影响.....	32
2.2.2 盐度对成活率、摄食率、肥满率、脏体比及肝体比的影响.....	33
2.2.3 盐度对常规营养成分的影响.....	34
2.2.4 盐度对肌肉氨基酸组成的影响.....	35
2.2.5 盐度对肌肉脂肪酸组成的影响.....	39
2.3 讨论.....	41
第 3 章 盐度对大菱鲆幼鱼鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力、血清离子浓度和 激素水平的影响.....	45
3.1 材料与方法.....	45
3.1.1 实验动物及驯化.....	45
3.1.2 样品采集和分析.....	45
3.1.3 统计分析.....	46
3.2 结果.....	46
3.2.1 盐度对 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力的影响.....	46
3.2.2 盐度对血清离子浓度的影响.....	47

3.2.3 盐度对血清生长激素 (GH) 和皮质醇激素 (COR) 水平的影响	48
3.3 讨论	48
第 4 章 大菱鲆 AMPK 基因克隆及盐度对其表达的影响	51
4.1 材料与方法	52
4.1.1 实验动物及实验设计	52
4.1.2 取样	52
4.1.3 RNA 的分离、纯化和全长 cDNA 扩增	52
4.1.4 实时荧光定量	59
4.1.5 数据处理与统计分析	60
4.2 结果	60
4.2.1 AMPK 基因分子结构特征	60
4.2.2 AMPK 氨基酸序列多重比较分析	61
4.2.3 AMPK 基因组织分布	67
4.2.4 盐度对 AMPK 基因表达的影响	69
4.3 讨论	72
第 5 章 盐度对大菱鲆幼鱼饲料蛋白质节约效应的影响	76
5.1 材料与方法	77
5.1.1 饲料	77
5.1.2 实验动物及实验设计	78
5.1.3 取样	79
5.1.4 分析方法	79
5.1.5 实时荧光定量	81
5.1.6 数据处理与统计分析	81
5.2 结果	81
5.2.1 盐度和饲料成分对成活率、生长性能和 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力的影响	81
5.2.2 盐度和饲料成分对肥满度、肝体比、脏体比和糖原的影响	85
5.2.3 盐度和饲料成分对血糖血脂、生长激素和皮质醇激素的影响	86
5.2.4 盐度和饲料成分对肝脏糖代谢酶活力的影响	88

5.2.5 盐度和饲料成分对 <i>AMPK</i> 基因表达的影响.....	89
5.3 讨论	95
结语	101
研究结论	101
创新点	103
研究展望	103
附录	104
附录 1 克隆和实时荧光定量引物	104
附录 2 大菱鲆 <i>AMPK</i> 基因	106
参考文献.....	111
攻读博士学位期间发表的论文.....	137
致谢	138

Contents

Lists of abbreviation	XIII
Abstract in Chinese	XV
Abstract in English	XIX
Chapter 1: Introduction	1
1.1 Effects of salinities on osmoregulation in fishes.....	3
1.1.1 Osmoregulation in marine teleosts.....	3
1.1.2 Osmoregulation in freshwater teleosts.....	4
1.1.3 Osmosensing	5
1.1.4 Osmoregulatory tissues and organs	5
1.1.5 Epilogue	7
1.2 Effects of salinities on growth,flesh quality and physiological and biochemical index.....	8
1.2.1 Effects of salinities on growth and feed conversion efficiency	8
1.2.2 Effects of salinities on flesh quality	8
1.2.3 Effects of salinities on gill $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activities.....	12
1.2.4 Effects of salinities on physiological and biochemical index	13
1.2.5 Effects of salinities on innate immunity of fish	16
1.2.6 Epilogue	16
1.3 Effects of salinities on the utilization of dietary carbohydrate by fish and its corresponding mechanisms.....	17
1.3.1 Effects of salinities on the utilization of dietary carbohydrate by fish..	17
1.3.2 Mechanisms of salinities effect on the utilization of dietary carbohydrate by fish.....	18
1.3.3 Epilogue	19
1.4 Energy metabolism of fish and AMPK.....	20
1.4.1 Effects of salinities on energy metabolism of fishes.....	20
1.4.2 Molecular characterization and tissue distribution of AMPK.....	21

1.4.3 Regulation of AMPK on energy metabolism.....	23
1.4.4 Regulation of AMPK on flesh quality	24
1.4.5 Regulation of AMPK activation and its utilization practices in aquaculture.....	24
1.4.6 Epilogue	25
1.5 Contents, purpose, significance and technical route of studies.....	26
1.5.1 The objectives of this study	26
1.5.2 Main reach contents	26
1.5.3 Technical route	27
Chapter 2: Effects of salinities on growth and flesh quality of juvenile turbot.....	29
2.1 Materials and methods.....	29
2.1.1 Fish and domestication	29
2.1.2 Sample and analysis.....	29
2.1.3 Calculations.....	31
2.1.4 Statistical analysis	32
2.2 Results.....	32
2.2.1 Effects of salinities on growth and feed conversion efficiency	32
2.2.2 Effects of salinities on survival rate, feed intake ratio, condition factor, viscera index, hepatosomatic index	33
2.2.3 Effects of salinities on protein, lipid, moisture and ash content in muscle	34
2.2.4 Effect of salinities on amino acid composition in muscle	35
2.2.5 Effect of salinities on fatty acid composition in muscle	39
2.3 Discussion.....	41
Chapter 3: Effects of salinities on gill Na⁺-K⁺-ATPase activities, and serum concentrations of ions and hormones of juvenile turbot.....	45
3.1 Materials and methods.....	45

3.1.1 Fish and domestication	45
3.1.2 Sample and analysis	45
3.1.3 Calculations and statistical analysis	46
3.2 Results	46
3.2.1 Effects of salinities on gill Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activities	46
3.2.2 Effects of salinities on serum concentrations of ions	47
3.2.3 Effects of salinities on serum concentrations of growth hormone and cortisol	48
3.3 Discussion	48
 Chapter 4: Molecular characterization and expression analysis of AMPK genes in turbot reared under different salinity environments	
.....	51
4.1 Materials and methods	52
4.1.1 Fish and experiment design	52
4.1.2 Sample	52
4.1.3 Isolation of RNA and amplification of full-length cDNA	52
4.1.4 Quantitative real-time PCR	59
4.1.5 Calculations and statistical analysis	60
4.2 Results	60
4.2.1 Molecular characterization of <i>AMPK</i> subunit isoform genes	60
4.2.2 Homology analysis of <i>AMPK</i> subunit isoforms genes	61
4.2.3 Tissue distribution of <i>S. maximus AMPK</i> subunit isoform genes	67
4.2.4 Gene expression levels of <i>AMPK</i> subunit isoforms	69
4.3 Discussion	72
 Chapter 5: Effects of salinities on protein-sparing effect of dietary carbohydrate of juvenile turbot	
5.1 Materials and methods	77
5.1.1 Diets	77

5.1.2 Fish and experiment design	78
5.1.3 Sample.....	79
5.1.4 Analytical methods	79
5.1.5 Quantitative real-time PCR.....	81
5.1.6 Calculations and statistical analysis.....	81
5.2 Results.....	81
5.2.1 Survival rate, growth performance, feed utilization and Na ⁺ , K ⁺ -ATPase activity.....	81
5.2.2 Condition factor, hepatosomatic index, viscera index and glycogen....	85
5.2.3 Serum glucose, triacylglycerol, cholesterol, growth hormone and cortisol.....	86
5.2.4 Hepatic glycolytic, gluconeogenic and lipogenic enzymes specific activities	88
5.2.5 Gene expression levels of <i>AMPK</i> subunit isoforms.....	89
5.3 Discussion.....	95
Conclusion and prospect.....	101
Conclusion.....	101
Innovation.....	103
Prospect.....	103
Appendices.....	104
Appendix 1 Primer sequences used for cloning and real-time RT-PCR....	104
Appendix 2 <i>AMPK</i> subunit isoform genes in turbot.....	106
Reference.....	111
Papers published.....	137
Acknowledgements.....	138

缩略语中英文对照表

缩写	英文	中文
6PGDH	6-phosphogluconate dehydrogenase	6 磷酸葡萄糖酸脱氢酶
ACC	Acetyl-CoA carboxylase	乙酰辅酶 A 羧化酶
AICAR	5 - amino-imidazole-4 - carboxamide nucleotide	5-氨基咪唑-4-甲酰胺核苷酸
AMPK	AMP-activated protein kinase	AMP 激活的蛋白激酶
AVT	Arginine vasotocin	精氨酸催产素
CaMKK	Ca ²⁺ /calmodulin-dependent protein kinase kinase	钙/钙调素依赖的蛋白激酶的激酶
CF	Condition factor	肥满度
COR	Cortisol	皮质醇
CS	Citrate synthase	柠檬酸合成酶
EAA	Essential amino acids	必需氨基酸
EAAI	Essential amino acid index	必需氨基酸指数
eEf-2	Eukaryotic elongation factor-2	真核延长因子 2
F%	Feed intake ratio	摄食率
FAS	Fatty acid synthase	脂肪酶合成酶
FBPase	Fructose disphosphatase	果糖 1、6-二磷酸酶
FCE	Feed conversion efficiency	饲料效率
G-6-Pase	Glucose 6-phosphatase	葡萄糖 6-磷酸酶
G6PDH	Glucose 6-phosphate dehydrogenase	葡萄糖-6-磷酸脱氢酶
GH	Growth hormone	生长激素
GK	Glucokinase	葡萄糖激酶
GP	Glycogen phosphorylase	糖原磷酸化酶
GS	Glycogen synthetase	糖原合成酶
HIS	Hepatosomatic index	肝体比
HK	Hexokinase	己糖激酶

HMG-CoA	3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A	3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A
IGF-I	Insulin-like growth factor-I	胰岛素样生长因子 I
LKB1	Liver kinase B1	肝激酶 B1
mTOR	Mammalian target of rapamycin	哺乳动物雷帕霉素靶蛋白
NEAA	Non-essential amino acids	非必需氨基酸
NKA	Na ⁺ -K ⁺ -ATPase	钠钾 A T P 酶
PEPCK	Phosphoenolpyruvate carboxykinase	磷酸烯醇式丙酮酸羧化
PFK	Phosphofructokinase	磷酸果糖激酶
PK	Pyruvate kinase	丙酮酸激酶
PRL	Prolactin	催乳素
SGR	Specific growth rates	特定生长率
SR	Survival rate	存活率
TAA	Total free amino acids	总游离氨基酸
TAK1	Transforming growth factor- β activated kinase 1	转化生长因子 β 激活的激酶 1
TSH	Thyroxine	甲状腺素
VSI	Viscera index	脏体比

摘 要

本文利用海洋动物养殖学、生理学、营养学、生物化学及分子生物学等研究手段,较为系统和深入地研究了养殖环境中盐度因子和饲料营养成分对大菱鲆幼鱼 (*Scophthalmus maximus*) 生长、肌肉品质和饲料蛋白质节约效应的影响,并从摄食率、饲料效率、 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力、血清离子浓度和激素水平、糖代谢酶及 *AMPK* 基因在不同组织器官中表达水平等方面的变化来探讨其影响机理。研究成果可为大菱鲆幼鱼的生长、肌肉营养品质和饲料营养成分的环境调节提供科学依据。

盐度对大菱鲆幼鱼生长和肌肉品质的影响及其机理研究: 将平均体质量为 (7.14 ± 0.08) g 的大菱鲆幼鱼分别饲养在 5 种不同盐度 (12、18、24、30 和 36) 的水体中 60 d, 每个盐度设 3 个平行, 投喂自配饲料 (碳水化合物 5%, 粗脂肪 10%, 粗蛋白 52%), 以探讨盐度对大菱鲆幼鱼生长和肌肉品质的影响。主要研究结果如下:

(1) **盐度对大菱鲆幼鱼成活率、特定生长率和饲料效率的影响:** 12 盐度组幼鱼的成活率为 $80.77 \pm 3.85\%$, 其他盐度组幼鱼的成活率均为 100%。12 盐度组幼鱼的特定生长率、摄食率和饲料效率均显著低于对照组 (30 盐度组) ($P < 0.05$); 18、24 和 36 盐度组的特定生长率高于对照组, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 而饲料效率均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

(2) **盐度对大菱鲆幼鱼体成分的影响:** 粗蛋白质含量随盐度的升高而降低, 除 12 和 18 盐度组之间无显著性差异外 ($P > 0.05$), 其余各盐度组之间均存在显著性差异 ($P < 0.05$); 12 盐度组幼鱼肌肉中的粗脂肪显著低于其它盐度组, 灰分显著高于其它盐度组 ($P < 0.05$), 其余各盐度组之间粗脂肪和灰分均无显著性差异 ($P > 0.05$); 各盐度组之间幼鱼肌肉中的水分均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

(3) **盐度对大菱鲆幼鱼肌肉氨基酸和脂肪酸组成的影响:** 幼鱼肌肉中的氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸和呈味氨基酸含量从高到低依次为 36 盐度组 > 30 盐度组 > 12 盐度组 > 18 盐度组 > 24 盐度组, 36 盐度组均显著高于 24 盐度组 ($P < 0.05$)。多不饱和脂肪酸和 EPA + DHA 含量从高到低依次为 36 盐度组 > 30 盐度组 > 24 盐度组 > 12 盐度组 > 18 盐度组, 但各盐度组间均无显著性差

异($P > 0.05$)。30 和 36 盐度组的必需氨基酸指数显著大于其他盐度组($P < 0.05$)。各盐度组间的支链氨基酸、必需氨基酸/氨基酸总量、必需氨基酸/非必需氨基酸、呈味氨基酸/氨基酸总量、必需脂肪酸均无显著性差异 ($P > 0.05$)。与对照组相比, 36 盐度组大菱鲆幼鱼肌肉中的氨基酸和脂肪酸组成有所改善, 其蛋白质和脂肪质量得到提高。

(4) 盐度对大菱鲆幼鱼鳃 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力、血清离子浓度、生长激素和皮质醇激素的影响: 幼鱼鳃 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力、血清 Na^+ 浓度均随盐度的升高而上升, 各盐度组间血清中 K^+ 和 Cl^- 浓度差异不显著 ($P > 0.05$)。生长激素与特定生长率成正相关: $y=0.4409x+1.2856$ ($R^2=0.8911$); 皮质醇激素与特定生长率成负相关 $y=-0.0123x+2.5092$ ($R^2=0.7029$)。

(5) AMPK 基因克隆和组织表达: 以肌肉总 RNA 为模板, 通过基因克隆得到了大菱鲆 *AMPK $\alpha 1$* 、 *$\alpha 2$* 、 *$\beta 1$* 、 *$\beta 2$* 、 *$\gamma 1$* 和 *$\gamma 3$* 的全长 cDNA 或全长编码序列。多重序列比对和系统发育树构建表明大菱鲆 *AMPK $\alpha 1$* 、 *$\alpha 2$* 、 *$\beta 1$* 、 *$\beta 2$* 、 *$\gamma 1$* 和 *$\gamma 3$* 的氨基酸序列与其它物种, 尤其是真骨鱼类, 具有高度的相似性。所有组织器官(鳃、肝脏、脾脏、小肠、肾体、肌肉、眼睛、心脏、鳍条、脑、胃和头肾) 中均能检测到 *AMPK $\alpha 1$* 、 *$\alpha 2$* 、 *$\beta 1$* 、 *$\beta 2$* 、 *$\gamma 1$* 和 *$\gamma 3$* 基因表达, 但各亚基呈现不同的分布规律。*AMPK* 基因主要分布在肝脏、肌肉、心脏、脑等组织器官中, 肠、肾体、眼睛、鳍条等组织器官中表达水平较低, *AMPK $\gamma 3$* 仅在骨骼肌中高度表达。

(6) 盐度对大菱鲆 AMPK 基因表达的影响: 除小肠和肾外, 肝脏、肌肉、脾脏和鳃中 *AMPK $\alpha 1$* 、 *$\alpha 2$* 、 *$\beta 1$* 、 *$\beta 2$* 、 *$\gamma 1$* 和 *$\gamma 3$* 基因均受盐度的诱导表达。肝脏、肌肉、脾脏中 *$\alpha 1$* 、 *$\alpha 2$* 、 *$\beta 1$* 、 *$\beta 2$* 、 *$\gamma 1$* 和 *$\gamma 3$* 基因表达水平, 在 12 盐度时表达水平最高; 18 盐度时表达水平最低; 18 - 36 盐度范围内随盐度的升高而增加, 除了 36 盐度组肌肉 *AMPK $\alpha 2$* 、 *$\beta 2$* 和 *$\gamma 3$* 基因的表达水平显著低于 30 盐度组外。肌肉 *AMPK $\alpha 2$* 、 *$\beta 2$* 和 *$\gamma 3$* 基因的表达水平与特定生长率和饲料效率成负相关。鳃 *AMPK $\alpha 1$* 、 *$\alpha 2$* 、 *$\beta 1$* 、 *$\beta 2$* 和 *$\gamma 1$* 基因表达水平随盐度的升高而增加, 与 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力成正相关。

盐度对大菱鲆幼鱼饲料蛋白质节约效应的影响及其机理研究: 将平均体质量为 (7.16 ± 0.07) g 的大菱鲆幼鱼分别饲养在 5 种不同盐度 (12、18、24、30 和 36) 的水体中 60 d, 投喂 3 种不同的等能等脂饲料 (饲料 C5P15 (糖水平 5%,

蛋白质水平 52%), 饲料 C15P46 (糖水平 15%, 蛋白质水平 46%) 和饲料 C25P40 (糖水平 15%, 蛋白质水平 46%), 每个实验组设 3 个平行, 以探讨盐度对大菱鲃幼鱼生长和饲料蛋白质节约效应的影响。主要研究结果如下:

(1) 盐度和饲料成分对大菱鲃幼鱼成活率、 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力、摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率的影响: 除 12 盐度组幼鱼的成活率为 $90.60 \pm 8.73\%$ 外, 其他盐度组幼鱼的成活率为 100%。 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力随盐度的升高而增大, 不受饲料成分的影响。12 盐度组幼鱼的特定生长率、摄食率、饲料效率和蛋白质效率均显著低于对照组 (30 盐度组) ($P < 0.05$); 18 和 36 盐度组的特定生长率、饲料效率和蛋白质效率均显著高于 30 盐度组 ($P < 0.05$), 而摄食率与对照组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。总体上, 特定生长率和饲料效率随饲料糖水平升高而降低, 饲料组 C25P40 的特定生长率和饲料效率显著低于饲料组 C5P52 和饲料组 C15P46 ($P < 0.05$), 而饲料组 C5P52 和饲料组 C15P46 之间的特定生长率和饲料效率无显著差异 ($P > 0.05$)。然而, 36 盐度组特定生长率和饲料效率不受饲料成分的影响, 12 盐度组中饲料组 C25P40 和 C15P46 的特定生长率和饲料效率显著高于饲料组 C5P52 ($P < 0.05$)。

(2) 盐度和饲料成分对大菱鲃幼鱼肥满度、肝体比、脏体比、肝糖原和肌糖原的影响: 肝体比和肝糖原随饲料糖水平的升高而增大, 不受水体盐度的影响。肌糖原随饲料糖水平的升高而增大, 36 盐度组显著高于 12 和 30 盐度组 ($P < 0.05$), 其他盐度组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。肥满度和脏体比不受饲料成分和水体盐度的影响。

(3) 盐度和饲料成分对血清葡萄糖、血糖三脂、生长激素和皮质醇激素的影响: 12 盐度组葡萄糖浓度显著高于 30 盐度组 ($P < 0.05$), 而 18 和 36 盐度组葡萄糖浓度显著低于 30 盐度组 ($P < 0.05$)。葡萄糖水平不受饲料成分的影响。胆固醇含量不受水体盐度和饲料成分的影响。12 盐度组生长激素水平显著高于 30 盐度组 ($P < 0.05$), 而 18 和 36 盐度组生长激素水平显著低于 30 盐度组 ($P < 0.05$), 而皮质醇激素水平显著低于 30 盐度组 ($P < 0.05$)。生长激素与特定生长率成正相关, 相关式为 $y=1.4031x-1.2706$ ($R^2=0.663$); 皮质醇激素与特定生长率成负相关, 相关式为 $y=-55.688x+156.51$ ($R^2=0.5618$)。

(4) 盐度和饲料成分对糖代谢酶活力的影响: 与 30 盐度相比, 12 盐度组

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库